

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada sub- bab ini akan dibahas mengenai penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya dan gap yang terjadi antara penelitian yang sudah dilakukan dengan kebutuhan saat ini. *Gap* tersebut menjadi dasar dalam penelitian yang dilakukan.

2.1 Penelitian Terdahulu

Anggoro, dkk (2016), dalam penelitiannya yang berjudul *Reverse innovative design and manufacturing strategy for optimizing production time of customized orthotic insoles in CNC milling* menjelaskan mengenai tahapan proses RID untuk mendapatkan produk *orthotic insole* bagi orang yang menderita *foot deformities*. Penelitian ini menggunakan strategi *curve based modeling* untuk merekonstruksi bentuk *insole* yang sesuai dengan kaki pengguna. Penelitian ini juga menyertakan beberapa desain *insole* dengan geometri yang bervariasi, namun pengerjaan produk hanya sampai pada tahap simulasi PowerMill 2016.

Chapman, dkk (2013) melalui penelitiannya yang berjudul *Effect of Rocker Shoe Design Features on Forefoot Plantar Pressures in People with and without Diabetes* melakukan penelitian mengenai parameter optimal (menghasilkan *peak plantar pressure* terkecil) dalam membuat *rocker sole* bagi penyandang diabetes dan non diabetes. Parameter yang diuji adalah sudut apeks, posisi apeks, dan sudut ayunan. Pengujian dilakukan terhadap 24 orang penderita diabetes dan 24 orang non diabetes. Perhitungan *peak plantar pressure* dilakukan saat aktivitas berjalan dengan kecepatan $10 \text{ ms} \pm 10\%$ pada jarak 20m. Peneliti merekomendasikan parameter optimal *rocker sole* yaitu sudut apeks sebesar 95° , posisi apeks 60% dari total panjang kaki, dan sudut ayunan sebesar 20° . Parameter ini berlaku untuk *rocker sole* dalam produksi massal. *Rocker sole* yang mengalami *costumized* membutuhkan penyesuaian terhadap parameter-parameter ini dikarenakan bentuk kaki yang tidak sama. Namun penelitian ini hanya sampai pada tahap analisis desain numerik dengan software CAE namun tidak sampai tahap manufacturing dengan teknologi *subtraktif*.

Anggoro, dkk. (2017b) melakukan penelitian tentang penentuan *toolpath strategy* yang optimal pada *manufaktur insole shoe orthotic* yang terbuat dari EVA *Rubber Foam* untuk pasien diabetes. Penelitian ini menggunakan metode taguchi dimana parameter yang digunakan adalah *toolpath strategy*, *spindle speed*, *feed rate*, *step over* dan *type of patient*. Dari *orthogonal array* dengan *layout* $L_{18}2.3^4$ didapatkan kesimpulan penelitian dengan *strategy finishing raster* 45° pada enam kali percobaan (*spindle speed* 15,000, *feeding* 1000 mm/rotation, *step over* 0.2 mm), dan pasien 2 dengan *strategy step and shallow* pada delapan percobaan (*spindle speed* 14,000, *feeding* 800 mm/rotation, *step over* 0.2 mm). Sedangkan untuk nilai kehalusan permukaan pada kedua pasien adalah 0,0060 mm ($6\mu\text{m}$).

Bawono, dkk. (2017) melakukan penelitian tentang optimalisasi parameter proses manufaktur produk *iso_diabetes* untuk pasien dengan resiko tinggi. Penggunaan *Reverse Innovative Design* (RID) pada *insole* sepatu *orthotic* sebagai langkah pada penelitian ini membuat waktu desain lebih cepat dan proses manufaktur produk dapat sesuai dengan kualitas permukaan yang diinginkan oleh pasien. *Strategy finishing* pada langkah simulasi CAM menggunakan PowerMill 2016 adalah *Raster machining* 45° dan *Step and Shallow machining*. Selain *strategy finishing* yang telah ditetapkan, ada pula jumlah pasien yang ditetapkan yaitu sebanyak dua pasien. Metode yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu Metode Taguchi sehingga *layout* yang didapatkan adalah *orthogonal array* $L_8 4 2^3$. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa desain *iso_diabetes type* 0,75mm merupakan desain yang paling optimal dengan *surface roughness* mendekati 0,0069 mm dan waktu pengerjaan berkisar 4,20 jam untuk kedua pasien.

Santosa (2016) dalam penelitiannya tentang proses desain *insole shoe orthotic* pada pasien *deformities foot* berhasil mendapatkan *prototype* dan 3D CAD model dengan menggunakan metode *reverse engineering* dan *aditive manufacturing* pada mesin 3D Object 30 Pro di laboratorium proses produksi.

2.2 Penelitian Sekarang

Berdasarkan hasil telurusan penelitian terdahulu diperoleh sebuah keterbaruan dalam penelitian ini yaitu perlu adanya proses desain dan *manufacturing* produk *outsole shoe orthotic* berbahan *rubber polyuretan* pada mesin CNC 3 axis khusus untuk pasien diabetes nomor dua. Pasien ini berdasarkan riwayat kesehatan yang diperoleh dari penelitian Bawono, dkk. (2017), termasuk dalam

katagori pasien diabetes militus dengan skala resiko tinggi dan sering mengalami kesulitan dalam melakukan aktifitas kegiatan setiap hari ketika menggunakan alas kaki. Pembuatan *outsole* sepatu secara umum yang berkembang saat ini adalah menggunakan proses *termo forming* atau *dies mold* untuk produk masal. Namun bila hal ini di *running* untuk pasien di atas akan berakibat pada besarnya biaya produksi sepatu *orthotic* (200-250 juta). Salah satu solusi yang juga merupakan keterbaruan untuk diangkat menjadi topik penelitian ini adalah pembuatan *outsole shoe orthotic* khusus untuk pasien ini menggunakan teknologi *subtraktif manufacturing* yang ada di laboratorium proses produksi.

Untuk menghasilkan sepasang *outsole shoe orthotic* yang sesuai dengan bentuk insole pasien ini (Anggoro, dkk (2017b dan 2017c)) maka dibutuhkan file 3D model *insole shoe orthotic* dari penelitian sebelumnya. Pengembangan bentuk desain *outsole* didasarkan pada penelitian Chapman, dkk 2013 dengan sudut rocker arm 10^0 sampai 20^0 menjadi file 3D model *outsole* dengan format *.iges* atau *.psmodel*. File ini kemudian dikembangkan oleh peneliti dengan *software* PowerShape 2016 menjadi 3D model *outsole Shoe Orthotic* yang siap dilakukan proses manufaktur dengan mesin CNC.

Proses berikutnya dilakukan penentuan *toolpath strategy machining* yang optimal pada *software* CAM PowerMill 2016. Optimasi didasarkan pada lama waktu proses pengerjaan secara statistik (program *report*) dan hasil pengerjaan simulasi masing-masing *toolpath strategy*.

Hasil pengerjaan simulasi yang optimum ini di lanjutkan sampai tahap NC-Code. Ini dilakukan karena mesin CNC dapat machining produk setelah NC-Code ditransfer ke mesin CNC melalui *memory card*. Selanjutnya NC-Code ini digunakan peneliti dari tahap setup material sampai *manufacturing* pada mesin CNC sehingga didapatkan produk *outsole shoe orthotic* . Hasil produk ini nantinya akan digunakan oleh Anggoro, dkk (2016) sebagai dasar acuan dalam pembuatan sepatu *Orthotic* . Penelitian ini diharapkan mampu menjawab dan memberikan kontribusi positif pada penelitian selanjutnya.

Perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 2. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Penulis	Judul	Alat	Output	Data	Outcome
Ciobanu dkk (2012)	<i>Costumized Foot Orthosis Manufactured with 3D Printers</i>	Artec MH scanner	Desain produk baru	Kaki pasien	Jurnal MteM dan <i>Proceeding</i>
Anggoro, dkk (2017c)	<i>Computer aided reverse engineering system in the design and manufacturing of insole shoe orthotics for diabetes patient</i>	HandySCAN 700, PowerSHAPE	Mendapatkan desain <i>insole</i>	Kaki pasien	<i>Journal of Rapid Prototyping</i>
Anggoro, dkk. (2016)	<i>Reverse innovative design and manufacturing strategy for optimizing production time of customized orthotic insoles in CNC milling</i>	HandySCAN 700, Abaqus 6.13	Mendapatkan hasil analisis FEM	Kaki pasien	<i>Jurnal Medical Engineering and Physics</i>
Anggoro, dkk (2017b)	<i>Determining optimal toolpath strategy in the manufacture of orthotic insole shoe made from eva foam rubber for diabetes patients</i>	PowerShape 2016, PowerMill 2016, CNC Roland MDX 40	Produk insole, Kondisi Cutting parameter optimal pada mesin CNC	Kaki pasien	Jurnal ASL (manuscript acceptate 30 Oktober 2017)

B. Bawono, dkk (2017)	<i>Optimization of the parameters of the manufacturing process of the product iso_diabetes for patients with high risk classes</i>	PowerShape 2016, PowerMill 2016, CNC Roland MDX 40	Produk insole, Kondisi Cutting parameter optimal pada mesin CNC dan type desain insole yang optimal	Kaki pasien	Procedding seminar International Joint Conference Science & Technology IJCST 2016, Bali Nopember 2016
Chapman, dkk (2013)	<i>Effect of rocker shoe design features on forefoot plantar pressures in people with and without diabetes</i>	MatLab, sensor	Parameter optimal rocker sole	Nilai <i>peak plantar pressure</i>	Jurnal internasional
Maria Avellina Marcelline Santosa (2016)	Aplikasi <i>Computer Aided Reverse Engineering System (CARE System)</i> pada Produk <i>Orthotic Outsole</i> untuk Kasus Kelainan Kaki	HandySCAN 700, PowerShape 2016	desain dan <i>prototype</i> produk baru	Data kontur kaki dan <i>orthotic insole</i>	Skripsi
Jati Wibowo (2017)	<i>Desain manufacture outsole shoe orthotic dengan CAM dan CNC teknologi</i>	PowerShape 2016, PowerMill 2016, CNC YCM EV1020A , MarSurf PS1	Produk Outsole dengan material <i>Polyurethane</i>	<i>3D Insole</i>	Skripsi dan jurnal Scopus

2.3 Dasar Teori

Pada sub- bab ini akan dibahas mengenai kaki dan bentuk-bentuk kelainan kaki pada manusia, selain hal tersebut pada sub-bab ini juga akan di bahas mengenai *software* dan mesin yang akan digunakan untuk penelitian ini.

2.3.1 Kaki

Menurut KBBI kaki merupakan “anggota badan yang menopang tubuh dan dipakai untuk berjalan (dari pangkal paha ke bawah); bagian tungkai (kaki) yang paling bawah”. Kaki menahan seluruh tekanan tubuh manusia saat sedang berdiri, berjalan, maupun berlari. Namun beberapa orang mengalami kelainan bentuk kaki yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti penyakit atau keturunan. Kelainan bentuk kaki yang dapat terjadi antara lain:

a. Diabetes

Diabetes atau penyakit gula merupakan kondisi di mana tubuh seseorang tidak mampu mengendalikan level gula dalam darah. Hal ini dapat terjadi karena pankreas tidak memproduksi cukup banyak insulin atau sel dalam tubuh tidak dapat mendeteksi insulin dengan baik.

Diabetes merupakan penyakit yang paling banyak terjadi. Center Health Protection, Department of Health, HongKong (2010) mengungkapkan bahwa satu diantara 10 orang menderita diabetes tipe II. Pencegahan masalah kaki bagi penderita diabetes menjadi fokus utama dalam bidang kedokteran. Nanah pada kaki penderita diabetes merupakan penyebab utama amputasi tungkai bawah. (Ameersing, dkk. , 2015)

Terdapat dua jenis diabetes yaitu diabetes tipe I dan diabetes tipe II. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut

i. Diabetes tipe I

Diabetes tipe I disebabkan oleh ketidakmampuan sel beta pankreas untuk memproduksi insulin. Diabetes tipe I biasanya dialami orang di bawah usia 40 tahun.

ii. Diabetes tipe II.

Diabetes tipe II disebabkan kerusakan sel beta pada pankreas dan ketidakmampuan tubuh untuk merespon insulin. Diabetes tipe II dialami 85-90% penderita diabetes

b. *Flat feet*

Flat feet (*pes planus*) merupakan kondisi hilangnya lengkungan medial longitudinal pada telapak kaki. Secara umum seluruh bayi terlahir dengan kondisi ini. Pertumbuhan lengkung kaki membutuhkan waktu tujuh hingga sepuluh tahun. Namun beberapa orang tidak memiliki lengkungan ini hingga dewasa. Kondisi ini dialami setidaknya 15-20% populasi orang dewasa.



Gambar 2.11. Flat Feet

(sumber: Balasankar dan Ameersing, 2015)

c. *Hallux Fagus*

Hallux valgus merupakan kondisi kelainan kaki yang paling banyak terjadi dan dikenal pula dengan nama bunion. Penderita *hallux valgus* dicirikan dengan perubahan menyamping pada bagian sendi metatarsophalangeal (MTP). *Hallux Vagus* dapat menyebabkan rasa nyeri. Resiko terkena *hallux vagus* meningkat seiring bertambahnya usia. Kondisi ini umumnya terjadi pada wanita karena wanita lebih sering menggunakan sepatu “ketat” dan *high heels*.



Gambar 2.12. Hallux Vagus

(sumber: Balasankar dan Ameersing, 2015)

d. *High Heels Problem*

High heels problem merupakan masalah kaki yang terjadi akibat penggunaan alas kaki dengan “hak tinggi” (lebih dari 5 cm) dalam jangka waktu lama dan bentuk yang tidak sesuai. Penggunaan alas kaki jenis ini mengakibatkan

kelelahan dan rasa sakit pada kaki serta memicu kelainan bentuk kaki seperti *hallux fagus*, *callus*, dan terhambatnya pertumbuhan kuku jari kaki.

2.3.2 Outsole

Outsole merupakan bagian sepatu yang terletak pada bagian paling bawah dan bersentuhan langsung dengan lantai. *Outsole* umumnya terbuat dari material *rubber*, *EVA foam*, atau Polyuretane (PU). PU menjadi bahan *outsole* yang banyak digunakan sekarang ini karena mampu menahan tekanan, koefisien gesekan tinggi, dan memiliki umur pakai lebih lama dibandingkan material lainnya. *Outsole* berfungsi untuk memberikan pegangan sepatu terhadap lantai.

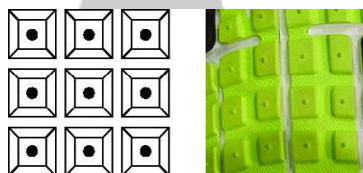
Outsole terdiri dari bentuk dasar dan *tread*. Bentuk dasar berhubungan langsung dengan *midsole/ insole* dan *lasts*. Bagian bawah *outsole* yang memiliki tekstur dan bersentuhan langsung dengan lantai disebut dengan *tread*. Desain *tread* menghabiskan setidaknya 60% dari waktu total desain *outsole* (Aracil dkk, 2016). Terdapat *jutaan* kemungkinan kombinasi *tread* yang dapat dihasilkan dikarenakan bentuknya yang kompleks dan dapat berbentuk apa saja mulai dari garis hingga ukiran.

Outsole memiliki berbagai macam bentuk dan tinggi mulai dari *flat outsole* pada *flat shoes* hingga *high heels*. Terdapat juga jenis sol khusus yang dikenal dengan *rocker sole*.

Promjun dan Sahachaisaeree (2016) menggolongkan *tread outsole* ke dalam lima jenis yaitu:

a. *waffle*

Pola ini berbentuk seperti *waffle* dan digunakan untuk pergerakan maju, kekuatan, dan ikatan pada permukaan sol. Tipe ini sering dijumpai dalam sepatu lari.

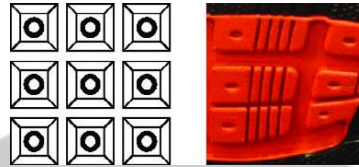


Gambar 2.13. Waffle Tread

(sumber : Promjun dan Sahachaisaeree (2016))

b. *Waffle fill*

Tipe ini memiliki fungsi dan bentuk mirip tipe *waffle*. Perbedaannya adalah pada tipe *waffle fill* terdapat *carbon rubber* pada setiap pola kotak.

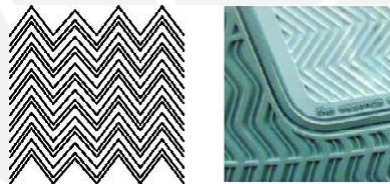


Gambar 2.14. Waffle fill Tread

(sumber : Promjun dan Sahachaisaeree (2016))

c. *Herringbone*

Tipe ini berbentuk garis *zig-zag* dan digunakan untuk menempel pada permukaan, pergerakan, perhentian tiba-tiba (menghindari terpeleset), dan berputar.



Gambar 2.15. Herringbone Tread

(sumber : Promjun dan Sahachaisaeree (2016))

d. *Hybrid*

Tipe ini merupakan gabungan dari beberapa pola. Tipe ini berfungsi untuk pergerakan dan penempelan pada permukaan.

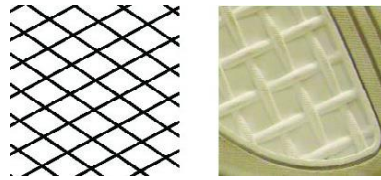


Gambar 2.16. Hybrid Tread

(sumber : Promjun dan Sahachaisaeree (2016))

e. *Texturized outsole*

Tipe ini berbentuk gabungan garis-garis lurus dan banyak digunakan pada sepatu jalan dan aerobik.



Gambar 2.17. Texturized Tread

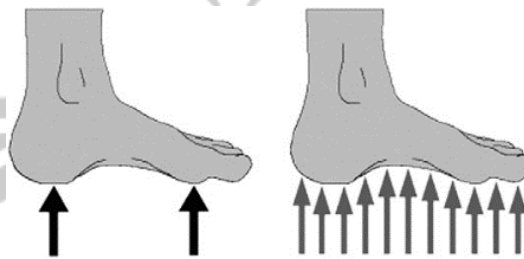
(sumber : Promjun dan Sahachaisaeree (2016))

2.3.3 Orthotic

Orthosis berasal dari kata dalam bahasa Yunani “*ortho*” yang berarti lurus atau benar. Kata *orthosis* biasa digunakan untuk menjelaskan alat yang digunakan untuk mempengaruhi atau mengganti karakteristik fungsional maupun struktural dari sistem *neuromusculoskeletal* (Redford JB, 1995). *Foot orthotic* merupakan alat fungsional yang didesain untuk memperbaiki dan mengoptimalkan fungsi kaki. (Octavian Ciobanu, dkk., 2016)

Terdapat tiga jenis *foot orthotic* yang dikemukakan Ciobanu dkk (2016) yaitu:

- Custom made orthotic* yang dibuat secara manual atau dengan bantuan teknologi CAD/CAM
- Customizable orthotic* yaitu *insole* fleksibel yang dapat dipanaskan untuk menyesuaikan bentuknya
- Prefabricated orthotic* yaitu *insole* yang sudah tersedia di rumah sakit atau internet seperti sepatu pada umumnya



Gambar 2.18. Perbedaan distribusi tekanan antara sepatu biasa (kiri) dengan orthosis (kanan)

(sumber: Janisse, 2006)

Menurut Janisse dkk (2006) *foot orthoses* dapat dibentuk lewat tiga cara antara lain

- Foam box*

Data kaki pasien dicetak dalam sebuah kotak sehingga membentuk sebuah cetakan kaki. Cetakan yang terbentuk dari kaki pasien kemudian digunakan untuk membuat replika dari kaki pasien.



Gambar 2.19. Foam Box Kaki

b. Plaster cast

Plaster cast diaplikasikan ke kaki pasien dengan kaki tergantung sehingga menghasilkan sebuah “cangkang” yang dapat digunakan untuk membuat replika kaki pasien.

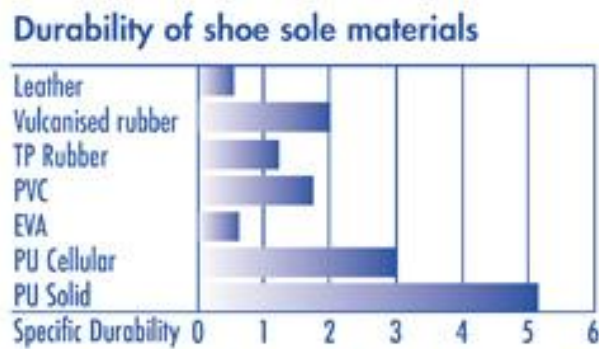
c. CAD/ CAM

Kaki pasien didapat dari hasil proses *scanning* untuk sehingga didapatkan sebuah model digital. Informasi yang didapat kemudian digunakan untuk proses permesinan sepatu. Cara ini merupakan cara yang paling cepat- kurang dari sehari.

2.2.1. Material Polyurethane

Polyuretan (PU) adalah material yang kuat dan tahan terhadap air sehingga sangat cocok untuk material outsole sepatu yang keras, dengan sifat yang lentur dan umur material yang panjang.

Di sektor sepatu, polyuretan dapat ditemukan dalam berbagai jenis alas kaki sepatu. Meski penerapannya paling banyak untuk sepatu olah raga, trekking dan sepatu bot, bahan polyurethane juga banyak digunakan untuk sol sepatu bisnis dan mode, serta sepatu keselamatan berkualitas tinggi. *Low-density* untuk sistem polyuretan banyak digunakan untuk *insole* dan *outsole*. Di banding dengan material yang lain, polyurethane merupakan material yang lebih tahan lama.

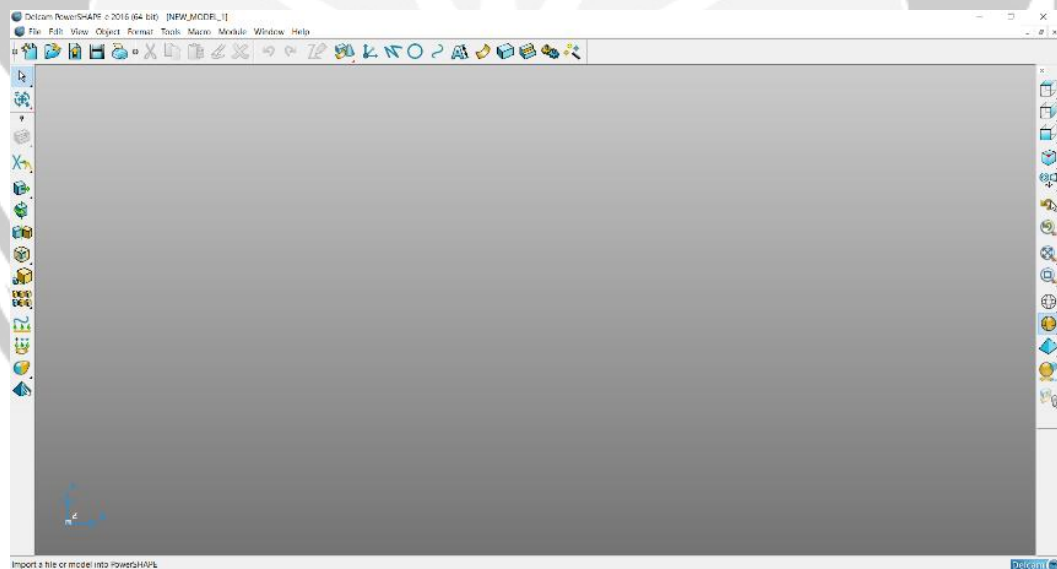


Gambar 2.12 Diagram *Durability of shoe*

Sumber : <http://polyurethanes.org/en/where-is-it/footwear>

2.3.4 PowerShape 2016

PowerSHAPE merupakan software desain CAD yang dikembangkan oleh PT. Delcam. PowerSHAPE memungkinkan pengguna untuk melakukan desain gambar 3D dalam bentuk *wireframe*, *surface*, maupun *solid*. PowerSHAPE mampu mengimpor file dalam format STL sehingga dapat digunakan untuk membuka gambar hasil *scanning*. PowerSHAPE memiliki fungsi *mesh editing* yang dapat digunakan untuk mengolah *mesh file*.



Gambar 2.20. User Interface PowerSHAPE 2016

Dalam proses desain *outsole*, fungsi- fungsi utama yang digunakan dalam PowerSHAPE antara lain.

a. Wireframe Modeling

Fitur ini digunakan untuk membuat dan melakukan pengolahan garis 2 dimensi sebagai bentuk pola dasar gambar 3D.

b. *Surface Modelling*

Fitur ini digunakan untuk membuat gambar CAD dalam bentuk *surface*.

c. *Solid Modelling*

Fitur ini digunakan untuk membuat gambar CAD dari produk *orthotic outsole*

d. *Triangle Modelling*

Fitur ini dilakukan untuk mengolah *3D mesh STL*.

Fungsi tambahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain.

e. *Comparison Analysis*

Fitur ini digunakan untuk memetakan besar penyimpangan yang terjadi antara hasil *scan* dengan hasil RE dalam warna. Fitur ini mulai ditambahkan pada PowerSHAPE 2016 64 bit dan hanya dapat dilakukan jika *user* memiliki lisensi PowerSHAPE Pro.

f. *Solid editing menu*

Fitur ini digunakan untuk mengolah *solid* seperti membuat radius dan membuat bentuk dasar *outsole* dengan menu *extrusion*, menggabungkan, dan memotong *solid*.

g. *Create a solid wrap feature*

Fitur ini digunakan dalam proses penempelan *tread* ke bagian bawah sol sehingga *thread* mengikuti kontur bawah dari sol yang dibuat.

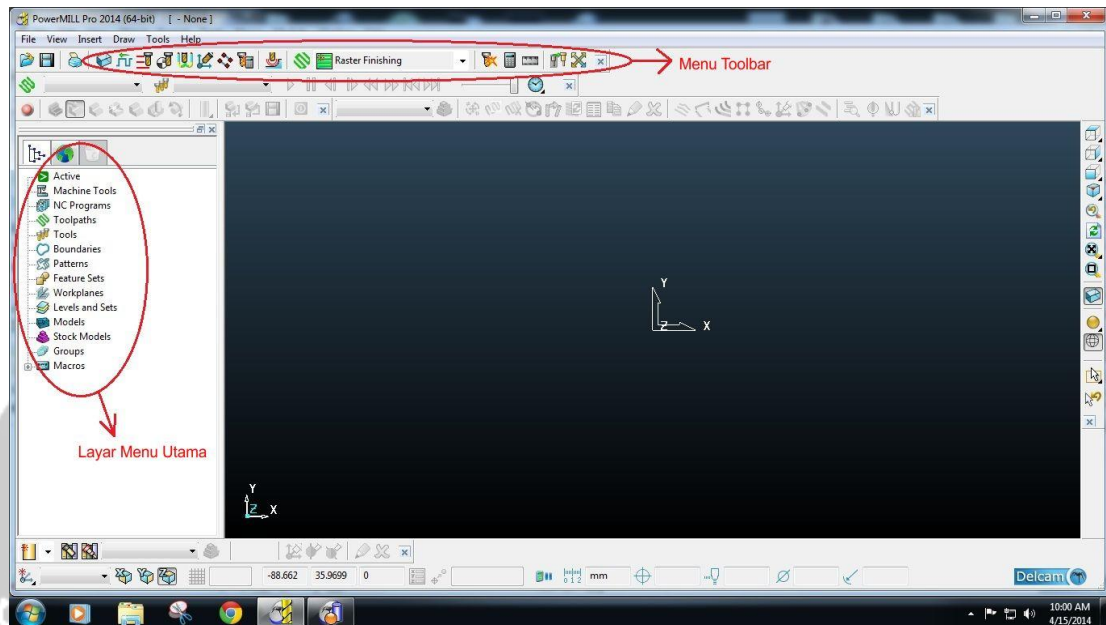
h. *Annotation*

Fitur ini digunakan untuk memberikan dimensi pada gambar kerja.

2.3.5 PowerMILL 2016

PowerMILL merupakan perangkat lunak yang mendukung dalam bidang perangkat lunak NC (*Numerical Control*) CAM. Keuntungan utama dalam penggunaan PowerMILL adalah dapat memasukkan bermacam-macam strategi permesinan, dapat meminimalkan waktu proses *roughing* maupun proses *finishing* dengan memilih strategi yang paling tepat, dan memiliki teknik *machining 5 axis*. PowerMILL juga dapat mengambil desain gambar dari *software design* yang lain seperti IGES, STEP, Catia, UG, ProEngineer, Rhino, dan lain-lain dalam bentuk format IGES, VDA, STL. Hasil *output* dari PowerMILL yaitu berupa simulasi permesinan, G-Code, dan waktu permesinan. Proses

PowerMILL dengan menggunakan beberapa fungsi penting digunakan untuk membuat *NC-Code* pada mesin CNC YCM EV1020A. Fungsi tersebut akan diuraikan dalam tahap berikut ini:



Gambar 2.14. Layar utama PowerMILL 2016
(sumber: *Software PowerMILL 2016*)

Tampilan menu utama pada *software PowerMILL 2016* terdiri dari:

a. *NC Program*

Pada tampilan utama terdapat menu *NC Program*. Menu *NC Program* ini berfungsi untuk membuat *G-Code* dari produk yang akan kita kerjakan. Dalam *G-Code*, nantinya berisikan langkah-langkah permesinan dalam bahasa program.

b. *Toolpath*

Menu *Toolpath* berfungsi untuk mengaktifkan dan bisa juga untuk melakukan *editing*, melihat estimasi waktu dari berbagai macam *Toolpath* yang telah kita buat sebelumnya.

c. *Tools*

Menu *Tool* berfungsi untuk memperlihatkan *cutter* yang telah kita pilih untuk proses permesinan. Melalui menu *Tool* ini kita juga dapat melakukan pengeditan terhadap jenis *tipe cutter* yang telah kita pilih.

d. *Boundaries*

Menu *Boundaries* memiliki fungsi untuk membatasi area yang akan kita proses. Jika kita menginginkan hanya area tertentu yang ingin kita proses, maka kita dapat memproses melalui menu *Boundaries* ini.

e. *Pattern*

Menu *Pattern* berfungsi membatasi area yang akan kita proses. Menu ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan menu *Boundaries*. Namun bedanya menu *Pattern* hanya memproses sesuai dengan batas tepi dari produk yang akan kita proses.

f. *Feature Set*

Menu *Feature Set* berfungsi untuk membuat lubang atau *hole* pada model. Melalui *Feature Set* ini, kita dapat dengan cepat membuat lubang, karena *cutter* akan secara otomatis bergerak membuat lubang sesuai dengan desain yang telah kita buat.

g. *Workplane*

Menu *Workplane* berfungsi untuk mengecek *workplane* mana yang sedang aktif dan juga berfungsi untuk mengatur *workplane* mana yang ingin kita aktifkan.

h. *Levels*

Menu *Levels* pada Pmill berfungsi untuk menyembunyikan sementara gambar produk tanpa menghilangkan gambar produk. Hal ini sangat berguna jika kita menginginkan pengeditan pada gambar produk.

i. *Models*

Menu *Models* dalam PMill memiliki fungsi untuk menunjukkan model apa saja yang telah kita buka dalam PMill pada saat itu. Dalam menu *Models* juga diperlihatkan *type*, *origin*, *path*, *translucency* dari model yang telah kita kerjakan.

j. *Stock Models*

Stock Models merupakan gabungan model dari model yang telah kita calculate sesuai parameter stock model tersebut,

k. *Groups*

Groups merupakan kumpulan-kumpulan dari *stock models*.

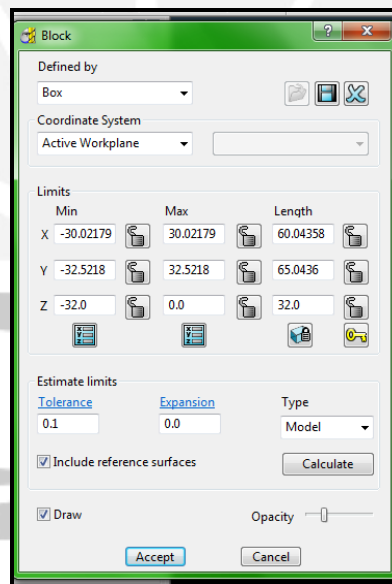
l. *Macros*

Menu *Macros* dalam PMill berfungsi sebagai *Help*. Jika kita membutuhkan penjelasan mengenai PMill kita dapat menggunakan menu *Macros*.

Berikut adalah menu dan fungsi *toolbars* pada *software PowerMILL 2016*:

a. *Dialog Block*

Fungsi dari menu *Block* ini adalah untuk memberikan ukuran material yang dibutuhkan, sehingga ukuran antara produk yang akan diproses dan material yang diperkirakan dapat benar-benar sesuai ukuran. Menu *Block* terdapat limit Min X, Max X, Min Y, Max Y, Min Z, Max Z. Limit ini berfungsi sebagai ukuran material yang kita inginkan. X menunjukkan ukuran horizontal sesuai sumbu X, Y ukuran horizontal sesuai sumbu Y, sedangkan Z ukuran vertikal atau tinggi material. Namun jika kita mengalami kesulitan dalam mencari ukuran material agar benar-benar sesuai dengan kebutuhan, kita dapat mengklik *Calculate*. Melalui *Calculate*, kita bisa mendapatkan ukuran material secara otomatis, tanpa harus mengisi satu per satu ukuran material yang kita butuhkan.

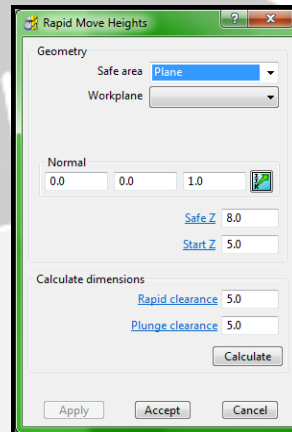


Gambar 2.15 Tampilan *Block Form*
(sumber: *software PowerMILL 2016*)

b. *Rapid Move Height*

Menu ini berfungsi untuk menentukan jarak ketinggian antara material dengan ujung mata *cutter* terendah saat *cutter* tidak melakukan pemakanan pada material. Menu ini juga memiliki fungsi untuk memberikan jarak aman saat dimulainya pemakanan antara material dengan ujung mata *cutter* agar tidak terjadi tabrakan yang tidak diinginkan antara *cutter* dengan material.

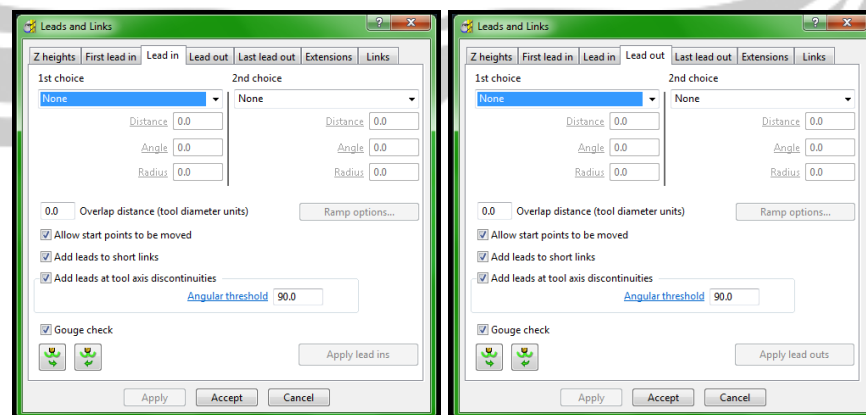
Dalam menu *Rapid Move Height* ini terdapat menu *safe Z*. *Safe Z* adalah jarak aman antara *cutter* dengan material, sedangkan *Start Z* artinya adalah jarak ketinggian *cutter* dari material dimana *cutter* mulai bekerja. Keduanya dapat kita tentukan sendiri sepanjang jarak antara material dan ujung *cutter* lebih dari 0 mm.



Gambar 2.16 Tampilan *Rapid Move Heights*
(sumber: software *PowerMILL 2016*)

c. *Leads and Links Form*

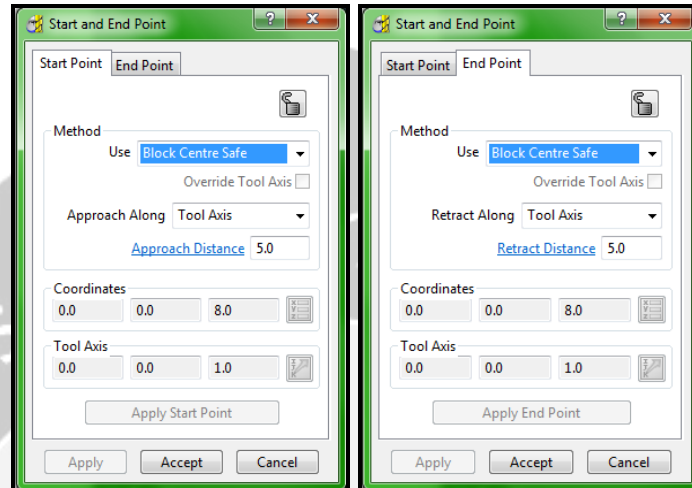
Fungsi dari *Leads and Links Form* adalah sebagai cara untuk mempercepat atau menyingkat waktu *machining*. Prinsip kerja dari penggunaan menu *Leads and Links Form* ini adalah dengan meniadakan gerakan-gerakan *cutter* yang tidak efektif yang dapat memperlambat *machining time*.



Gambar 2.17 Tampilan *Leads and Links*
(sumber: software *PowerMILL 2016*)

d. *Start and End Point*

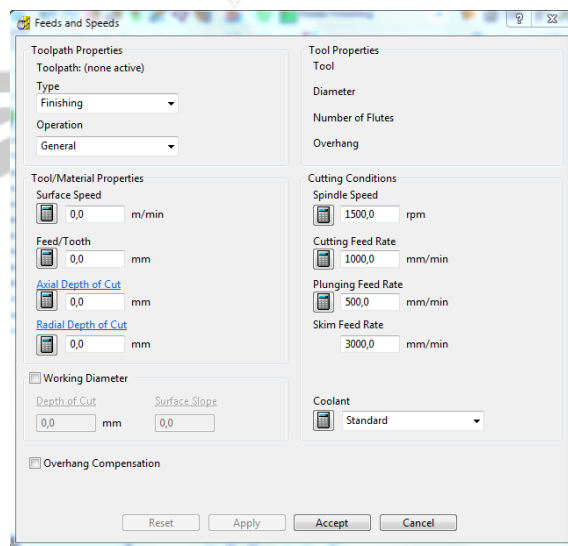
Menu *Start and End Point* digunakan untuk mengatur titik awal pemakanan *cutter* pada material.



Gambar 2.18 Tampilan *Start and End Point*
(sumber: software PowerMILL 2016)

e. *Feed Rate*

Fungsi dari menu *Feed Rate* ini adalah untuk menentukan nilai pada *rapid*, *plunge*, *cutting*, *spindle speed*, *drilling* sesuai yang kita inginkan. Melalui *Feed Rate* ini kita juga dapat menentukan jenis *collant* apa yang akan kita gunakan.



Gambar 2.19 Tampilan *Feeds and Speeds*
(sumber: software PowerMILL 2016)

f. *Toolpath Startegy*

Menu ini berfungsi untuk menentukan *Toolpath* apa yang ingin digunakan. Penentuan *Toolpath* ini sangat berpengaruh terhadap hasil *machining* produk dan waktu proses pengerjaan. Sub menu dalam menu *Toolpath Strategy* ini antara lain adalah *2,5D Area clearance*, *3D Area clearance*, *Blisk*, *Drilling*, *Favourite*, *Finishing* dan *Ports*. Disetiap sub menu tersebut terdiri dari berbagai macam *strategy* pergerakan *cutter* yang dapat kita pilih. Berikut beberapa *toolpath strategy* yang terdapat dalam PowerMill 2016

1. *Raster Finishing*

Toolpath strategy yang kelima yang termasuk *Toolpath strategy favourites* adalah *Raster Finishing*. *Raster finishing* ini memiliki pola pergerakan yang hampir sama dengan *Raster Area Clear Model*, namun *Raster Finishing* ini lebih dikhususkan sebagai *Toolpath* dalam proses *semifinishing* dan proses *finishing*.

Berdasarkan preview pola pergerakan *cutter* pada *Toolpath strategy Raster Finishing*, pola pergerakan *cutter* bergerak melewati semua area material dari ujung mulai hingga ujung material selesai. Pola pergerakan *cutter* bergerak secara horizontal ke kiri dan ke kanan dan mengikuti kontur dari model yang sedang dikerjakan.

2. *Optimized Constant Z Finishing*

Toolpath Strategy Optimized Constant Z Finishing merupakan *Toolpath strategy* dapat digunakan untuk proses *semifinishing* ataupun *finishing*.

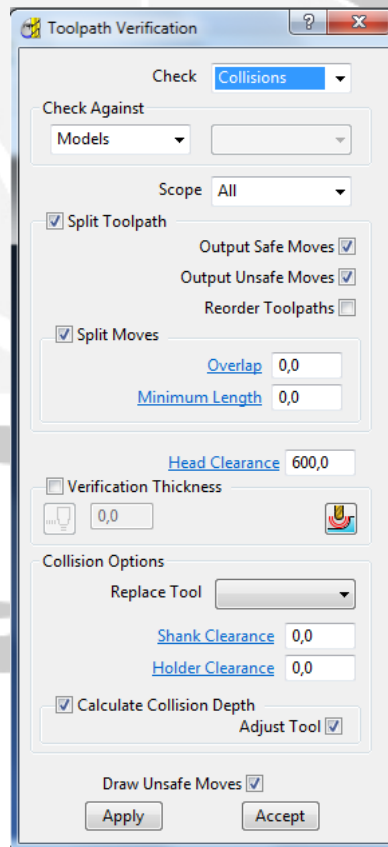
Toolpath strategy Optimized Constant Z Finishing memiliki pola pergerakan *cutter* yang bergerak mengikuti bentuk dari model yang akan dikerjakan. Keunggulan dari *Toolpath* ini adalah memiliki waktu proses yang lebih cepat dibandingkan *Toolpath strategy* yang lain. Keunggulan yang lain adalah pergerakan *cutter* mampu mengerjakan area-area yang rumit. Pergerakan *cutter Constant Z Finishing* bergerak mengikuti pola dari model yang ada dan bergerak ke dalam dan semakin ke dalam. Kedalaman dari pemakanan *cutter* ini dapat kita atur melalui *setting* dari *deep of cut*.

3. *Steep and Shallow Finishing*

Toolpath strategy ini merupakan alternative dan pengembangan dari *Toolpath strategy Optimised Constant Z* yang menggabungkan antara sudut ambang dari *3D Offset*, *Raster* dan *Constant Z* sehingga untuk pemakan pada bagian irisan dari sudut yang tidak dapat dikerjakan oleh *Constant Z* dan *3D Offset* dapat dimakan sempurna.

g. *Toolpath Verification*

Menu ini berfungsi untuk memverifikasi *tool* dengan *Toolpath* yang telah dibuat dengan tujuan untuk mengecek supaya tidak terjadi kesalahan atau tabrakan antara *tool* dengan model yang dibuat.



Gambar 2.20 Tampilan Toolpath Verification
(sumber: *software PowerMILL 2016*)

2.3.6 *Computer Numerical Control (CNC)*

Computer Numerical Control atau CNC adalah hasil perkembangan dari *Numerical Control* atau NC. CNC merupakan peralatan elektromekanikal yang membaca dan menginstruksikan program instruksi dan mengubah menjadi

tindakan mekanikal pada peralatan mesin dengan menggunakan *microprocessor* sebagai unit pengontrol.

Mesin-mesin perkakas yang menggunakan CNC disebut dengan mesin CNC. Untuk mengoperasikannya diperlukan *software*, yang dimana kegunaan *software* itu untuk *operating system* menginterpretasikan program korespondensi antara control mesin. *Machine interface* mengoperasikan *link* antara NC dan membangkitkan sinyal dengan *drive* dari *software* digunakan untuk komputer dan mesin CNC sehingga mesin dapat beroperasi. Mesin CNC terhubung dengan komputer, tidak hanya untuk memungkinkan operator dalam menjalankan program tetapi juga memodifikasi program tersebut, baik setelah diinputkan atau dijalankan.

